FÜZE, ROKET SİSTEMLERİNDE KULLANILAN LÜLE ÇEKİRDEĞİ TERMOMEKANİK ANALİZİ ve TASARIM İYİLEŞTİRMESİ

Doğuş Ünlü¹, Berkan Mumcu² Roketsan AŞ., ANKARA Tarık OLĞAR³ Roketsan AŞ., ANKARA

ÖZET

Roket, füze sistemlerinde kullanılan lüle komplesi itki kuvvetinin istenen süre boyunca sağlanmasını ve mühimmatı istenen ivme seviyesine getirmek için kullanılmaktadır. Lüle komplesindeki, çekirdek bölümü yüksek sıcaklıklara ve basınç yüküne maruz kalmaktadır. Çekirdeğin, yüksek sıcaklıklara maruz kalması tasarımı ve malzeme seçimini kritik hale getirmektedir. Genellikle, yüksek sıcaklıkla dayanımı azalmayan refrakter malzemelerin kullanıldığı çekirdek bölümünün mühimmatın görev süresi boyunca yapısal bütünlüğünü koruması önem arz etmektedir. Görev süresi boyunca çekirdeğin yapısal bütünlüğünün korunup, korunmadığı sıcaklığa bağlı malzeme verileri kullanılarak termomekanik analizler vasıtasıyla değerlendirilir. Bu kapsamda, literatürde sıcaklık ve basınç verisi bulunan CASTOR II[Shields, 1976] füzesine ait lüle komplesinin termomekanik analizleri Abaqus yazılımı vasıtasıyla gerçekleştirilerek sonuçlar elde edilmiş ve maksimum asal gerilmenin düşürülmesi için tasarım iyileştirmeleri önerilmiştir. Önerilen tasarım iyileştirmelerinden sonra, ilk durum ile sonuçlar karşılaştırılmış ve gerilme seviyesinde azalma gözlenmiştir.

Giriş

Katı yakıtlı roket, füzelerde istenilen zamanda belirli itki kuvvetinin elde edilmesi ve bazı farklı uygulamalarda yönlendirme için kullanılan lüle komplesi, yakıt yanması esnasında yüksek sıcaklık ve basınç yüküne maruz kalmaktadır[Lapp, Quesada, 1992]. En yüksek sıcaklığa maruz kalan bölüm, lüle çekirdeğidir. Görev süresi boyunca, lüle çekirdeğinin yapısal bütünlüğünü koruyup, korumadığı termomekanik analizler yapılarak kontrol edilir[Lapp, Quesada, 1992]. Lüle komplesi dahil edildiği mühimmatların istenilen görevi yerine getirebilmesi için farklı amaçlar için tasarlanmıştır. Temel olarak dış lüle ve gömülü lüle olmak üzere 2 adet nozul çeşidi mevcuttur[NASA, 1975]. Dış lüleye ait görsel Şekil 1'de; gömülü lüleye ait görsel ise Şekil 2'de verilmiştir. Dış lüle komplesinde yakınsak, ıraksak bölümler mevcuttur ve lüle gövdesi yanma gerçekleşen hacmin dışında bulunmaktadır[NASA, 1975]. Gömülü nozul tasarımında ise, giriş, boğaz ve çıkış bölümlerinin bir kısmı yanma gerçekleşen hacmin içinde ver almaktadır. Lüle tasarımlarına, hareketli eklem eklenerek yönlendirme gereksimleri sağlanabilmektedir[Graves, Fonnesbeck ve Roth, 1989]. Uzaya uydu fırlatmak icin kullanılan katı yakıtlı itki sistemlerinde de kullanılan tasarım bu şekilde oluşturulmuştur. Lüle çekirdeği, çoğunlukla yüksek ısıya karşı dayanıklı, yöne bağlı özellikleri değişen karbon kompozit malzemeden üretilmektedir[Berdoyes, 2006].

Bu çalışma kapsamında, literatürde basınç ve sıcaklık verisi bulunan, Castor II [Shields, 1976] roketinin dış lüle komplesinin termomekanik analizi sonlu eleman modelleme yazılımı vasıtasıyla

¹ Kıd. Uzm. Müh., Roketsan AŞ., E-posta: dunlu@roketsan.com.tr

² Kıd. Uzm. Müh., Roketsan AŞ., E-posta: bmumcu@roketsan.com.tr

³ Lider Müh., Roketsan AŞ., E-posta: tolgar@roketsan.com.tr

yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma, lüle yalıtım ve metal gövdesi haricinde tasarım açısından zorluk seviyesi yüksek olan çekirdek parçasının yapısal bütünlük açısından incelenmesini içermektedir. İlgili parça yüksek sıcaklık değerlerine maruz kalmakta ve termal genleşme çözülmesi zor bir problem haline gelip, parçanın kırılmasına sebep olabilmektedir. Lüle çekirdeği malzemesi grafit olarak alınmıştır. Maksimum asal gerilme değerlerinin düşürülmesi için, tasarım iyileştirme önerisi sunulmuş ve güncel tasarıma ait gerilme değerleri ile karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 1 : Dış Lüle Komplesi Tasarımı[NASA, 1975]



Şekil 2 : Gömülü Lüle Komplesi Tasarımı[NASA, 1975]

Castor II [Shields, 1976] füzesine ait lüle geometrisi Şekil 3'te; geometriye ait ölçüler ise Şekil 4'te gösterilmiştir. Lüle komplesinde kullanılan malzemeler Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 3 : Castor II[Shields, 1976] Lüle Komplesi

2 Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı



Şekil 4 : Castor II Lüle Komplesi Ölçüleri[Shields, 1976]



Şekil 5 : Castor II Lüle Malzemeleri[Shields, 1976]

YÖNTEM

Castor II [Shields, 1976] lüle komplesine ait sonlu eleman modeli oluşturulduktan sonra, önce basınç daha sonra da sıcaklık dağılımı modele uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir. Sonlu eleman modeli, lineer tam integrasyonlu eksenel simetrik elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur[Abaqus6141 Theory Guide] . Sonlu eleman modeline ait detay Şekil 6'da gösterilmiştir. Literatürde verilen basınç ve sıcaklık yükü modele uygulanmıştır[Shields, 1976] .

Basınç yükü dağılımı Şekil 7'de; sıcaklık dağılımı(°C) ise Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 6 : Lüle Komplesi Sonlu Eleman Modeli



Şekil 8 : Sıcaklık Yüklemesi

UYGULAMALAR

Mekanik ve termal yüklerin uygulanmasından sonra, gerilme dağılımı incelendiğinde maksimum ve minimum asal gerilmenin yüksek olduğu bölgeler tespit edilmiştir. Grafit malzemenin kırılgan yapıya sahip olmasından ötürü, akma dayanımı yerine çekme ve basma dayanımı değerlerinin değerlendirme aşamasında kullanılması gerekmektedir. Buna göre, malzemenin çekme testi sonucunda elde edilen çekme dayanımı değeri olan 28MPa ile gerilme skala üst değeri sınırlandırılarak, Şekil 9'de verilen gerilme dağılımı elde edilmiştir. Gerilmenin yüksek çıktığı bölümler üretim esnasında bölünmüş şekilde tasarlanırsa, Şekil 9'da görüldüğü üzere maksimum asal gerilme değeri düşmektedir. Beklendiği üzere, sıcaklık farkı kaynaklı çevresel gerilmeden oluşan minimum asal gerilme dağılımı yapılan tasarım iyileştirmesi ile değişmemiştir. Minimum asal gerilme dağılımı şekil 10'da gösterilmiştir. Maksimum kayma gerilmesi değeri ve yayılmış olduğu bölge de azalmış ve parça kayma dayanımı açısından daha güvenilir hale gelmiştir. Kayma gerilmesi dağılımı Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 9 : Maksimum Asal Gerilme Dağılımı(MPa)



Şekil 10 : Minimum Asal Gerilme Dağılımı(MPa)



Şekil 11 : Kayma Gerilmesi Dağılımı(MPa)

Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı

SONUÇ

Castor II lüle komplesi tasarımının termomekanik analizi gerçekleştirilmiş; lüle yalıtımlarının ve metal gövdenin yapısal bütünlüğünü koruduğu varsayımı ile çekirdek parçası yapısal bütünlük açısından incelenmiştir. Çekirdek parçası için sıcaklık yükünün, mekanik yüke göre baskın olduğu duruma ait analiz sonuçları elde edilmiştir. Roket/füze uygulamalarında kullanılan lüle çekirdeği için parça üzerindeki sıcaklık farkının yüksek olması malzemeyi yüksek asal gerilmeye maruz bırakır. Bu sebeple, eğer mümkün ise çekirdek için ısıl iletkenliği yüksek ve sıcaklıkla dayanım değerlerinin azalmadığı malzemeler seçilmelidir. Çalışmada, ek olarak tasarım iyileştirmesi yapılmış ve maksimum asal gerilmenin yüksek çıktığı bölgelerde bölüntü oluşturularak analiz çalışması tekrar edilmiştir. Sonuçlardan anlaşıldığı üzere, parçanın ayrı şekilde tasarlanması gerilme değerlerinin düşmesine ve kırılma riskinin azalmasına yol açmıştır. Bu tasarımda olduğu gibi, kırılgan bir malzeme olan grafit için maksimum asal gerilmenin düşük olması yapısal güvenilirlik açısından önem arz eden bir koşuldur. Ancak, sıcaklık dağılımının parçaların ayrılması ile değişmediği varsayımının yapıldığı da gözden kaçırılmamalıdır.

Kaynaklar

Abaqus 6141 Theory Guide

Berdoyes M., *Snecma Propulsion Solide Advanced Technology SRM Nozzles.History and Future*, 42nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, Sacramento, California, , 9 - 12 July 2006 Fonnesbeck J., Graves S. ve Roth R., *Development and Certification of the Space Shuttle Redesigned Solid Rocket Motor Nozzle*, AIAA/ASM E/SAE/ASEE 25th Joint Propulsion Conference, Monterey, CA / July 10-12, 1989

Lapp P., Quesada B., *Analysis of Solid Rocket Motor Nozzle*, AI AA/SAE/ASME/ASEE 28th Joint Propulsion Conference and Exhibit, NASHVILLE, TN, June 6-8,1992

Shields, S., Scout Nozzle Data Book, NASA, 1976

Solid Rocket Motor Nozzles, NASA SP-8115, NASA, Washington, D.C., 1975